

Verfahren zur Mikrozerspanung von metallischen Werkstoffen

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum verschleißarmen Mikrozerspanen von Werkstücken aus Metall oder Metalllegierungen, insbesondere Stahl, wobei ein Werkstück mit zumindest einer ein Diamantwerkzeug aufweisenden Zerspanungsvorrichtung, insbesondere einer Ultrapräzisionsdreh-, -frä- oder -schleifmaschine mikrozerspanend bearbeitet wird. Die Erfindung betrifft des Weiteren ein Werkstück aus einem Metall der IV. - VIII. Nebengruppen oder einer Metalllegierung, insbesondere Stahl mit durch Mikrozerspanung bearbeiteter Oberfläche.

In der Mikrozerspanungstechnik werden im Stand der Technik hauptsächlich Werkstücke aus Nichteisenmetallen bearbeitet. Dabei werden in der sogenannten Ultrapräzisionsbearbeitung Vorrichtungen mit Schneidwerkzeugen aus monokristallinem Diamant eingesetzt. Diamanten haben den Vorteil, dass sie eine hohe Wärmeleitfähigkeit, einen geringen Reibwert, vor allem aber eine extrem große Härte aufweisen, so dass es möglich ist, in Werkstücke aus Nichteisenmetallen mit diesen Diamanten relativ verschleißarm Oberflächenstrukturen mit Genauigkeiten im Mikrometer- und Submikrometerbereich einzubringen, wobei sich die Oberflächenrauhheiten bei der Mikrozerspanung im Bereich einiger Nanometer bewegen. Der Begriff „verschleißarm“ bezieht sich in diesem Zusammenhang auf das Schneidwerkzeug selbst, d. h. den Diamanten, dessen Abnutzung den gesamten Bearbeitungsprozess begrenzt.

Schon seit Anbeginn der Mikrozerspanungstechnik besteht das Bedürfnis, die Palette der bearbeitbaren Werkstoffe zu erweitern. Es besteht insbesondere das Bedürfnis, Stahl in all seinen Materialvariationen zu verwenden, um insbesondere die Härte, Verschleiß-, Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit legierter und unlegierter Stähle nutzen zu können. Die Mikrozerspanung von Stahl bringt im Stand der Technik äußerst große Probleme mit sich, da die eingesetzten Diamantwerkzeuge bei der Bearbeitung von Stahl einem so hohen Verschleiß unterliegen, dass es unwirtschaftlich ist, die Oberflächen von Stahlwerkstücken durch Mikrozerspanung zu bearbeiten.

Der hohe Verschleiß des Diamantwerkzeugs hat neben der Härte des zu bearbeitenden Stahls vor allem die Ursache, dass auf Grund einer chemischen Reaktion beim Kontakt

des Diamanten mit im Stahl vorhandenem Eisen (oder Legierungselementen) die obersten Atomlagen des Diamanten in thermodynamisch stabiles, aber weiches Graphit umgewandelt werden.

- 5 Auf dem Gebiet der Mikrozerspanung wird seit Jahren intensiv geforscht, um die Problematik des hohen Verschleißes der eingesetzten Diamantwerkzeuge in den Griff zu bekommen. Dabei wurden verschiedene Ansätze verfolgt. Unter anderem wurde der Bewegung des Diamantwerkzeugs eine Ultraschallanregung überlagert, um die Kontaktzeit zwischen Diamant und zu zerspanendem Werkstück so kurz wie möglich zu halten.
- 10 Die verschiedenen Ansätze führten allerdings bisher noch nicht zu einem Durchbruch im Sinne einer verbreiteten technischen Anwendung.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zum Mikrozerspanen von Werkstücken aus Metall oder Metalllegierungen, insbesondere Stahl anzugeben, bei dem der Verschleiß des Diamantwerkzeugs gegenüber dem bisher im Stand der Technik bekannten Verfahren deutlich reduziert wird. Weiter ist es Aufgabe der Erfindung, Werkstücke aus Metall oder Metalllegierungen, insbesondere Stahl anzugeben, die mit einem verschleißarmen Mikrozerspanungsverfahren bearbeitet wurden.

- 20 Die erfindungsgemäße Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum verschleißarmen Mikrozerspanen von Werkstücken aus Metall oder Metalllegierungen, insbesondere Stahl, wobei ein Werkstück mit zumindest einer ein Diamantwerkzeug aufweisenden Zerspanungsvorrichtung, insbesondere einer Ultrapräzisionsdreh-, -fräss- oder -schleifmaschine mikrozerspanend bearbeitet wird, wobei das Werkstück vor dem Mikrozerspanen in einem ersten Schritt einer thermochemischen Randschichtbehandlung unterworfen wird, und wobei in einem zweiten Schritt die thermochemisch behandelte Randzone des Werkstücks mit der Zerspanungsvorrichtung bearbeitet wird.

Unter dem Begriff „Randzone“ des Werkstücks wird dabei der gesamte oberflächennahe Bereich des Werkstücks verstanden, der durch thermochemische Verfahren beeinflussbar ist.

Der Haupteffekt, d.h. die größte Verschleißreduktion wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren dann erzielt, wenn die Tiefe von mit dem Diamantwerkzeug in das Werkstück eingebrachten Schnitten geringer ist als die Dicke der thermochemisch behandelten

Randzonen, denn dann wird vollständig und ausschließlich in dieser Randzone gearbeitet. Das Diamantwerkzeug steht in diesem Fall nur mit dem behandelten Randzonenmaterial in Kontakt. Es liegt aber auch im Rahmen der Erfindung, mit dem Diamantwerkzeug etwas in den unbehandelten Bereich des Werkstücks vorzudringen, was allerdings auf 5 Kosten der erreichbaren Verschleißreduktion geht.

Es ist zur Zeit noch nicht abschließend geklärt, welche genauen mikrophysikalischen und chemischen Prozesse zur Senkung des Diamantverschleißes dem erfindungsgemäßen Verfahren zu Grunde liegen. Gemäß einem ersten Erklärungsmodell wird durch das 10 neuartige Verfahren in der zu bearbeitenden Randschicht die Affinität der in dieser Zone vorhandenen chemischen Elemente - üblicherweise das Eisen im Stahl – zu Diamant derart herabgesetzt, dass eine Graphitisierung des Diamanten bei der nachfolgenden Mikrozerspanung deutlich weniger auftritt als ohne die erfindungsgemäße thermo-chemische Behandlung. Infolge dessen wird der Verschleiß des Diamantwerkzeugs 15 deutlich reduziert. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist ein Schneidkantenverschleiß erzielbar, der mindestens zwei Größenordnungen geringer ist als bei der Bearbeitung eines nicht thermochemisch behandelten Werkstoffs.

Unter Mikrozerspanung sollen im Rahmen der Erfindung alle derartigen, auch konventionellen Bearbeitungsverfahren gefasst werden, deren Ergebniswerkstücke eine hohe 20 Form-, Maß- und Oberflächenqualität besitzen. Insbesondere werden darunter spanende Fertigungsverfahren wie beispielsweise Drehen, Fräsen oder Schleifen verstanden.

Das zu bearbeitende Werkstück kann dabei aus Übergangsmetallen der Nebengruppen 25 IV. - VIII., insbesondere Eisen, Nickel, Chrom, Vanadium, Molybdän, Titan, Wolfram, Kobalt oder einer – auch durch Sintern hergestellten - Legierung auf Basis dieser Metalle bestehen. Sämtliche Stahlsorten, unter Umständen als Legierungen auf Basis dieser Metalle, sind ebenfalls eingeschlossen.

Was das Diamantwerkzeug angeht, das in der Zerspanungsvorrichtung eingesetzt wird, 30 so weist dieses üblicherweise einen monokristallinen Diamanten als Schneidstoff auf. Alternativ kann als Schneidstoff auch polykristalliner Diamant oder eine mit Diamant beschichtete Trägerplatte - beispielsweise aus Hartmetall – verwendet werden. Darüber hinaus kann der Schneidstoff auch aus mono- oder polykristallinem CBN oder aus einer 35 mit CBN beschichteten Trägerplatte aufgebaut sein.

Mit der thermochemischen Randschichtbehandlung wird vorteilhafterweise insbesondere ein Element wie Stickstoff, Bor, Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel oder Sauerstoff oder eine Kombination dieser Elemente in die Werkstückrandzone eingebracht und zwar

5 üblicherweise durch ein Verfahren wie Nitrieren, Borieren, Nitrocaburieren, Carbunitrieren, Aufkohlen, Phosphatieren oder Oxidieren oder eine Kombination dieser Verfahren. Denkbar sind im Übrigen alle thermochemischen Verfahren, die zu dem erwünschten Ergebnis führen, nämlich den Verschleiß des Diamantwerkzeugs zu reduzieren.

10 Wenn die thermochemische Randschichtbehandlung Nitrieren ist, bieten sich Verfahren wie Gasnitrieren, Salzbadnitrieren, Plasmanitrieren oder Lasernitrieren an.

Für die anderen thermochemischen Verfahren bieten sich ebenfalls Prozesse unter Gasatmosphäre mit und ohne Plasmaunterstützung an, insbesondere das Plasmaauf-

15 kohlen oder Plasmaborieren.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird auch gelöst durch ein Werkstück aus einem Metall oder einer Metalllegierung, insbesondere Stahl, mit durch Mikrozerspanung bearbeiteter Oberfläche, wobei das Werkstück eine durch eine thermochemische Oberflächen-

20 behandlung wie Nitrieren, Borieren und dergleichen entstandene Randzone aufweist.

Wirtschaftlich besonders sinnvoll ist es, wenn das Werkstück ein Formwerkzeug für den optischen Formbau ist, insbesondere zur Produktion von asphärischen Optiken, optischen Komponenten mit Freiformflächen sowie Prismenarrays aus Kunststoff oder Glas. Gerade

25 im optischen Formbau wird angestrebt, Formwerkzeuge zur Herstellung von komplizierten Optiken aus widerstandsfähigem Material wie Werkzeugstahl herzustellen. Dies war vor dieser Erfindung nur unter hohen Kosten möglich.

Das Werkstück kann aber auch eine mechanische Präzisionskomponente sein, insbesondere eine Lagerschale für Luflager, ein Ventilsitz für hochbeanspruchte hydraulische Stellglieder, ein hochbeanspruchtes Präzisionsführungselement, eine Lagerschale für hoch genaue Kugellager oder ein korrosionsbeständiger Metallspiegel. Die Erfindung ist

30 natürlich nicht auf diese aufgeführten Beispiele beschränkt.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der beigefügten Zeichnung sowie aus den beiliegenden Unteransprüchen.

5 Es zeigt dabei:

Fig. 1 eine Prinzipskizze eines Plandrehvorgangs eines thermochemisch behandelten Werkstücks.

10 Eine mikrozerspanende Bearbeitung von Werkstücken aus Stahl mit Diamantwerkzeugen ist im Stand der Technik üblicherweise auf Grund der Graphitisierung des Diamanten bei der Bearbeitung nicht möglich auf Grund des Verschleißes am Diamantwerkzeug. Um diesen Verschleiß zu reduzieren, wird das Werkstück aus Stahl vor der Bearbeitung nitriert.

15

Bei dem vorliegenden konkreten Ausführungsbeispiel wird in einem ersten Schritt ein Werkstück 1 - eine Ronde mit ca. 60 mm Durchmesser aus dem Stahlwerkstoff Ck45N - bei einer Temperatur von 550°C ca. fünf Stunden gasnitriert. Im Zuge des Gasnitrierens dringt Stickstoff in das Werkstück 1 ein, woraufhin dieses eine Randzone 2 nitrierten Stahlwerkstoffs ausbildet, die sich von der unbearbeiteten Oberfläche 3 des Werkstücks 1 20 in das Werkstück 1 hineinerstreckt.

25

An diese Randzone 2 grenzt eine unbehandelte Grundgeugezone 4 aus unverändertem Ck45N an, die durch das Gasnitrieren auf Grund ihrer Tiefe im Werkstück 1 nicht beeinflusst wurde.

30

In einem zweiten Schritt wird das Werkstück 1 plangedreht und eine Oberfläche 7 in optischer Qualität hergestellt. Schematisch dargestellt ist ein Teil 5 einer Ultrapräzisionsdrehmaschine mit Diamantschneide 6. Die Diamantschneide 6 dringt zur Bearbeitung der Oberfläche bzw. des Oberflächenbereichs des Werkstücks 1 in die thermochemisch behandelte Randschicht 2 des Werkstücks 1 ein.

Für die Diamantschneide 6 wird ein monokristalliner Diamant eingesetzt.

Mit anderen Worten kann die nitrierte Randschicht 2 mit deutlich reduziertem Verschleiß der Diamantschneide 6 bearbeitet werden, wobei auch Strukturen in optischer Oberflächenqualität in die Randschicht 2 eingearbeitet werden können.

5 Wie beim Nitrieren von Stahl bekannt ist, ist die Härte des Werkstücks 1 in der Randzone 2 höher als im Inneren, unbehandelten Werkstückbereich, d.h. der Grundgefügezone 4. Damit sind die Eigenschaften, insbesondere Härte, Verschleißbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit nach dem Nitriervorgang im Bereich der Randschicht gegenüber dem Ausgangszustand verbessert.

10

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren sind Rauheiten von bis zu $Ra \approx 10 \text{ nm}$ erreichbar. Durch manuelles Nachpolieren sinkt die Rauheit auf $Ra \approx 5 \text{ nm}$.

15

Bezugszeichenliste

5

- 1 Werkstück
- 2 Randzone
- 3 unbearbeitete Oberfläche
- 4 Grundgefügezone
- 5 Teil einer Ultrapräzisionsdrehmaschine
- 6 Diamantschneide
- 7 Oberfläche optischer Qualität

Patentansprüche

1. Verfahren zum verschleißarmen Mikrozerspanen von Werkstücken aus metallischen Werkstoffen oder Metalllegierungen, insbesondere Stahl, wobei ein Werkstück (1) mit zumindest einer ein Diamantwerkzeug (6) aufweisenden Zerspanungsvorrichtung (5), insbesondere einer Ultrapräzisionsdreh-, -fräse- oder -schleifmaschine mikrozerspanend bearbeitet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück (1) vor der spanenden Bearbeitung in einem ersten Schritt einer thermochemischen Randschichtbehandlung unterworfen wird und dass in einem zweiten Schritt die thermochemisch behandelte Randzone (2) des Werkstücks (1) mit der Zerspanungsvorrichtung (5) bearbeitet wird.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Werkstück (1) aus einem Metall der IV. - VIII. Nebengruppe, insbesondere Eisen, Nickel, Chrom, Vanadium, Molybdän, Titan, Wolfram oder Kobalt oder einer insbesondere durch Sintern hergestellten Legierung auf Basis dieser Metalle besteht.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die thermochemische Oberflächenbehandlung zumindest Bor, Stickstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff, Phosphor, Schwefel in die Werkstückrandzone (2) eingebracht werden.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die thermochemische Oberflächenbehandlung Nitrieren, Nitrocarburieren, Carbunitrieren, Borieren, Carburieren oder Oxidieren oder eine Kombination dieser Verfahren ist.
- 25 5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das thermochemische Randzonenbehandlungsverfahren Gasnitrieren, Gascarbunitrieren, Badnitrieren, Plasmanitrieren oder Lasernitrieren ist.
6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Tiefe von mit dem Diamantwerkzeug (6) in das Werkstück (1) eingebrachten Schnitten geringer ist als die Dicke der thermochemisch behandelten Randzone (2).

7. Werkstück aus einem Metall oder einer Metalllegierung, insbesondere Stahl, mit durch Mikrozerspanung bearbeiteter Oberfläche, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück (1) eine durch thermochemische Oberflächenbehandlung wie Nitrieren, Nitro-carburieren, Carbunitrieren, Borieren oder dergleichen entstandene Randzone (2) aufweist.

8. Werkstück nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück (1) ein Formwerkzeug für den optischen Formenbau ist, insbesondere zur Produktion von asphärischen Optiken, optischen Komponenten mit Freiformflächen sowie Prismenarrays aus Kunststoff oder Glas.

9. Werkstück nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück (1) eine mechanische Präzisionskomponente ist, insbesondere eine Lagerschale für Luftlager, ein Ventilsitz für hochbeanspruchte hydraulische Stellglieder, ein hochbeanspruchtes Präzisionsführungselement, eine Lagerschale für hochgenaue Kugellager oder ein korrosionsbeständiger Metallspiegel.

10. Werkstück nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück (1) aus Eisen, Nickel, Chrom, Vanadium, Molybdän, Titan, Wolfram, Kobalt oder einer insbesondere durch Sintern hergestellten Legierung auf Basis dieser Metalle besteht.

11. Werkstück nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück (1) aus hochlegiertem Stahl besteht.

Fig. 1

